心理学报 2022, Vol. 54, No. 9, 1009−1020
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.01009

追踪手势对视空间学习的增强作用*

贾筱倩 宋晓蕾

(陕西师范大学心理学院; 陕西省行为与认知神经科学重点实验室, 西安 710062)

摘 要 本研究采用地图学习任务范式考察了追踪手势对视空间学习的影响和增强, 并试图从追踪手势的角度寻找能够有效促进操作者视空间学习的方法。实验 1 探究了产生追踪手势对视空间学习的增强作用; 实验 2 采用遮挡范式考察了产生追踪手势增强视空间学习的作用机制, 发现产生追踪手势所提供的视觉信息和感觉运动信息共同作用于视空间学习过程; 实验 3 从具身认知的视角探索了基于追踪手势的视空间学习增强方式, 发现以自我为参照产生追踪手势可以更好地增强个体的视空间学习。本研究结果很好地支持并补充了手势的具身认知理论。

关键词 产生追踪手势, 视空间学习, 表象维持理论, 手势的具身认知理论

分类号 B842

1 问题提出

视空间能力(visuo-spatial ability)是在人脑中形成外部世界的空间模型, 并通过模型范式的转化在头脑中进行思考的信息加工能力, 是视知觉和空间知觉两方面能力的整合(李洪玉, 林崇德, 2005)。视觉加工(visual processing)主要是整合物体的多种特征, 如形状、深度、质地、颜色、状态和背景等, 将这些信息通过视觉通路传输至人脑, 人脑进行辨别、分析、存储、提取以及应用(赵微, 田创, 2008; Mathewson, 1999); 空间知觉(spatial perception)则是通过视觉进行识别、定位和思考来分辨方向, 或通过空间想象对视觉表象进行思考、检验、转换和保持, 从而实现对空间关系的把握和转换(Mathewson, 1999)。一般来讲, 一些特殊职业需要强大的视空间能力, 如飞行员、航天员和外科医生等。但日常生活中, 我们也经常需要使用视空间能力, 例如, 我们需要在陌生环境中进行空间导航或找到回家的路。因此, 视空间能力不仅对飞行员和航天员等特殊职业很重要, 而且在我们日常空间导航、估测高度和距离的过程中也起着非常重要的作用(Wai et al., 2009)。

以往研究发现, 对于视空间能力较低或偏好于使用地标策略的个体而言, 在进行视空间学习时他们可能更多地使用地标策略(van der Ham et al., 2020)。然而, 当所处的陌生环境中地标或参照物较少时, 这些视空间能力较低的个体常常容易迷失方向。那么对于这些个体而言, 如何提高其视空间能力值得我们进一步探究。前人曾通过一些方法试图帮助个体提高其视空间学习能力, 这些方法主要包括使用空间语言(Brunyé et al., 2008)和描绘地图(Uttal & O'Doherty, 2008; So et al., 2014)等。而当人们在解决问题时也常常会使用自己身体和手的动作, 例如手势。手势是在进行思考、推理和说话等需要努力的认知任务时所产生的手部动作(Alibali et al., 2001), 它反映了个体的内部认知过程。有研究者认为, 手势在个体的内部认知过程中起重要作用(Marstaller & Burianová, 2013)。且近年来越来越多的证据表明, 手势不仅预示着学习, 还能在学习的过程中起到推动作用(Goldin-Meadow, 2011), 如手势可以通过影响学习环境或直接影响学习者本身来间接地促进学习。此外, 手势也可以作为认知

收稿日期: 2021-04-12

* 国家自然科学基金面上项目(32071065); 国家自然科学基金重大项目(T2192931); 载人航天工程航天医学实验领域项目(HYZHXM03001); 中央高校基本科研业务费重点项目(GK202002010)。

通信作者: 宋晓蕾, E-mail: songxiaolei@snnu.edu.cn

系统的外部工具替代和支持其他认知过程，即手势作为外部身体行为可能对内部认知过程起到有利作用(Pouw et al., 2014)。如 So 等人(2014)发现，追踪手势可以传达视空间信息。因此，手势可能对视空间学习起到一定的增强作用。

手势主要包括追踪手势(tracing gestures)、描述性手势(depictive gestures)、隐喻性手势(metaphorical gesture)和节拍手势(beat gestures)四类(见表 1) (Cassell & McNeill, 1991)。其中，追踪手势是一种指向某方向或某物体的指示手势，与视空间信息的关系最为密切，因此本研究主要关注与视空间学习相关的追踪手势。前人关于追踪手势作用的研究主要围绕观察追踪手势和产生追踪手势展开，其中观察追踪手势是指通过让被试观察视频中他人的指示性手势来帮助学习路线(Wermeskerken et al., 2016)；而产生追踪手势是指被试在学习地图路线时做出同步的指示性手势(co-thought gestures)来帮助学习(So et al., 2014)。

以往研究发现，观察手势有助于提高儿童平面路线记忆的效果，其中，观察追踪手势有助于记忆路线和方向，而观察描述性手势有助于提高对道路名称的记忆(Wermeskerken et al., 2016)。即使路线只通过口头形式呈现的，3~4 岁的儿童仍可以通过观察特定的手势来对路线方向进行编码(Austin & Sweller, 2014)，这说明说话人所提供的带有空间信息的手势会显著影响听者的空间记忆和任务表现(Austin & Sweller, 2017)。

产生追踪手势也是促进空间信息编码的有效手段，So 等人(2014)发现用手势比划平面路线比在纸上画路线和仅在脑中模拟路线的记忆效果更好，这可能是由于手势帮助个体摆脱了即时表征，构建了对路线更丰富的心理表征，从而巩固了空间序列，对空间表征产生了更强大的影响。研究者认为空间表象具有短期记忆功能，而手势可能有助于维持空间表象。当不需要空间表象时，如在有直接视觉刺激的情况下，个体对手势的依赖就会减少或消除(Wesp et al., 2001)。

观察手势和产生手势究竟何者的促进作用更强？de Nooijer 等人(2013)的研究发现，在词汇学习过程中，观察和产生描述性手势都可以起到促进作用，且产生比观察描述性手势更有效。那么在视空间学习过程中，产生追踪手势是否比观察追踪手势的作用更强？这个问题值得我们探讨。

关于手势增强机制的解释，与之相关的主要有两种理论：一种是 Wesp 等人(2001)提出的表象维持理论(image maintenance theory, IMT)，该理论认为手势的认知作用先于相应的语言表达，前语言思维过程中激活的图像如果不断更新就会迅速衰减，而手势是重新激活空间信息的一种手段。Wesp 等人通过实验发现，手势在认知加工中的作用是通过空间表象建立空间信息的前语言表征来实现的，即手势能维持空间表象。该理论可以很好地解释观察手势对视空间学习的促进作用。另一种是 Clark (2008)提出的手势的具身认知理论(the embedded-extended cognition perspective of gesture)，该理论认为手势是耦合神经−身体的重要组成部分，它与认知相关，是思维过程的延伸，可以影响正在进行的思考和推理。如同使用笔记本一样，手势提供了一种稳定的身体存在感(physical presence)，能帮助维持认知的稳定性，例如在词汇学习的过程中产生描述性手势比仅观察手势更为有效(de Nooijer et al., 2013)。从前人研究中可以看出，产生手势对个体的内部认知过程而言是非常有价值的，因为它可以减轻认知负荷(Pouw et al., 2014; Pouw & Hostetter, 2016)。也就是说，手势可以提供稳定的本体感受和视觉反馈，以产生或维持与任务相关的信息。因此本研究假设产生追踪手势对认知表现如视空间学习的影响比观察手势的作用更强。

尽管前人研究已经确立了观察追踪手势在平面地图视空间学习过程中的有益影响(Wermeskerken

表 1 手势类型

类型	定义
追踪手势	追踪手势也称为指示性手势(deictic gesture)，主要是指向某方向或某物体的手势，可以用来表示事物的相对位置，也可以是指向的动作，与空间信息相关，可以支持视觉空间处理(So et al., 2014; So et al., 2015)。
描述性手势	描述性手势也称为表象性手势(representational gestures)，主要通过提供某种视觉动作来描述某个具体对象。描述性手势提供了额外的信息，能帮助处理更深层的意义或语境(Alibali & Nathan, 2012)。
隐喻性手势	隐喻性手势传达的是一种没有物理形式抽象的信息，比如，“故事一直在继续”，同时说话人的手模仿着滚动的动作。
节拍手势	节拍手势是一种具有节奏性的动作，不包含明显的语义信息，强调语音的韵律或节奏。例如，在讲“书”一词的同时，说话者的手也在快速移动。这种手势也被称为强调手势，它具有元叙事功能，反映了话语的结构。

et al., 2016), 但产生追踪手势在视空间学习中作用的研究较少, 观察追踪手势和产生追踪手势何者能更好地增强视空间学习还未可知。其次, 前人对立体地图的研究较为缺乏, 平面地图能够提供一种俯瞰式的地图场景, 可以帮助个体更好地形成认知地图(van der Ham et al., 2020), 因此平面地图的路线学习可能更多与视觉相关, 而立体地图路线学习则仿照步行时第一视角(Meneghetti et al., 2016), 与真实场景中的路线学习更为相似, 且沉浸感更强, 不仅涉及到视觉信息, 还可能与感觉运动信息及身体存在感有关, 可见平面地图与立体地图的路线学习方式有一定差异, 追踪手势在平面地图路线学习起促进作用的结论是否适用于立体地图还不确定, 且探究产生追踪手势对立体地图路线学习的影响可以更好地帮助个体应对现实生活中的视空间学习, 因此探讨产生追踪手势对立体地图路线学习的作用不仅有一定的理论意义, 更有其应用价值。再次, 前人的理论研究主要认为手势可以帮助维持信息, 以提高认知表现, 但维持何种信息并没有定论, 即手势的作用机制还没有得到相应的揭示。最后, 前人研究中多提及女性的空间能力相对较低, 且在地图学习任务中更偏好于使用地标策略(van der Ham et al., 2020), 那么产生手势是否能提高女性的视空间学习能力也值得我们进一步探讨。

同时, 近年来随着计算机和虚拟现实技术的不断发展, 视空间学习任务开始更多地在模拟现实的场景中开展, 增强了实验结果在现实场景中的适用性和此类研究的生态效度, 也能更好地测量被试的视空间学习能力, 例如莫里斯水迷宫实验(the Morris water maze)、海克斯迷宫任务(the Hex maze)、地图阅读范式(speeded map-reading test)和地图学习任务(map learning task)等。其中, 地图学习任务作为视空间学习任务的典型范式之一, 包括平面地图路线学习和立体地图路线学习两种类型, 为众多研究者广泛使用。

本研究采用地图学习任务来探究追踪手势对视空间学习的增强作用、增强机制和增强方式三个问题。首先实验 1 探究了产生追踪手势是否对视空间学习有增强作用, 接着实验 2 采用遮挡范式考察了产生追踪手势对视空间学习的增强机制, 最后实验 3 从具身认知的视角探索了基于追踪手势的视空间学习增强方式。本研究假设: (1)基于前人对观察手势促进作用的研究, 本研究认为产生追踪手势也可以对视空间学习起到增强作用; (2)基于手势的具身认知理论, 本研究认为相较于观察手势, 产生追踪手势能够提供多种类型的感觉信息, 并增强身体存在感, 从而可以更好地支持内部认知过程; (3)基于手势的具身认知理论和前人对词汇学习过程中观察和产生手势作用的比较, 本研究认为在视空间学习中, 以自我为参照的产生追踪手势是一种效果更佳的视空间学习增强方式。

2 实验 1: 产生追踪手势对视空间学习的影响

由于以往关于手势对视空间学习影响的研究主要集中平面地图的路线学习, 而产生追踪手势在立体地图路线学习中的作用却少有报道, 因此实验 1 首先通过比较产生追踪手势在平面地图和立体地图路线学习中的作用, 来探讨产生追踪手势对平面地图和立体地图视空间学习的影响是否存在差异。

实验 1 采用 2 (地图类型: 平面地图、立体地图) × 2 (手势: 无手势、产生追踪手势) × 2 (性别: 男、女)的实验设计, 比较了产生追踪手势在平面地图和立体地图路线学习中的作用, 探究产生追踪手势在立体地图视空间学习中的作用是否与平面地图相似。

2.1 实验方法

2.1.1 被试

使用 G*Power 对样本量进行计算, effect size $f = 0.4$, $\alpha = 0.05$, $1 - \beta = 0.8$, 计算出所需样本量为 52 人。

根据计算出的样本量招募了陕西省某高校 53 名大学生作为被试参加实验。被试均为右利手, 年龄在 17 到 26 岁之间(M = 19.77 岁), 其中男生 20 名, 女生 33 名。参加实验的被试视力/矫正视力正常, 无色盲或色弱。被试之前没有参与过相同或相似的研究, 且不知晓研究目的。

2.1.2 实验材料

实验 1 采用地图学习任务作为主要任务范式。

使用 Mazesuite (Ayaz et al., 2008; www.mazesuite.com)创建虚拟环境, 虚拟环境中墙体高 2.5 米, 全部采用草纹, 所有拐角皆为 90°, 地面全部使用砖纹, 天空使用默认的灰色, 场景如图 1(b)所示。

平面地图路线部分使用 Adobe Photoshop CC 2019 绘制地图及路线作为学习材料, 分别在起点和终点进行了相应标注, 如图 1(a)所示。立体地图路线部分使用 Bandicam 录制由主试操纵的在虚拟立体地图中的动态行走路线作为学习材料。在实验中, 被试将以第一人称视角完成任务。场景中的

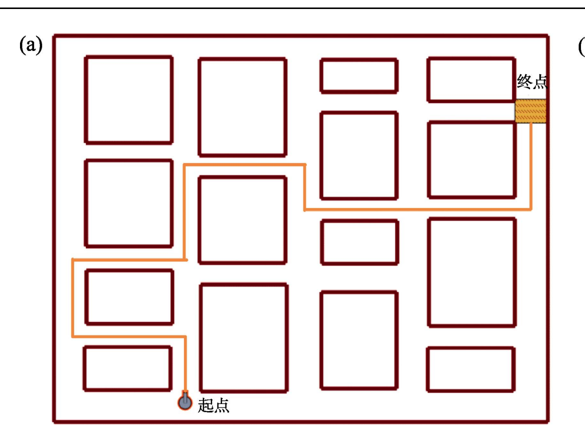




图 1 (a)平面路线示例; (b)虚拟场景示例

步行速度设置为 2.5 米/秒，与现实中步行速度相近。被试使用键盘上的上下左右键来进行操纵。共有 8 条路线，分别绘制在 8 张略有不同但结构相似的地图上，其中，平面地图 4 条路线，立体地图 4 条路线，每条路线起点、终点以及路径均不相同。每条路线都有 8 个拐弯、9 段路径，路线皆无交叉。

2.1.3 实验程序

实验采用计算机呈现刺激并按键操作的形式进行。被试进入实验室后以标准坐姿坐好，保持 60 cm 视距。签署知情同意书后，主试首先向实验对象说明实验操作中的注意事项，然后通过示例的方式给被试讲解操作方法，并让被试尝试进行操作，确认被试了解实验流程、操作方式并能流畅操作后进入正式实验。

实验 1 共有 4 组实验：

(1)平面地图实验：

①无手势条件：给被试呈现平面地图及路线，要求被试将双手平放在桌上，避免被试做出任何手势，同时要求被试学习该路线。

②产生追踪手势条件：给被试呈现平面地图及路线，要求被试根据路线的方向作出相应的向左、向右或向前的追踪手势，并学习该路线。

(2)立体地图实验：

①无手势条件：给被试呈现立体地图路线视频，要求被试将双手平放在桌上，避免被试做出任何手势，同时要求被试学习该路线。

②产生追踪手势条件：给被试呈现立体地图路线视频，并要求被试根据路线的方向作出相应向左、向右或向前的追踪手势，并学习该路线。

每组实验 2 个试次，共有 8 个试次。所有条件下路线学习时间均为 1 分钟。

由于路线视频都是提前录制好的，因此每个被试观看的视频是相同的。每段视频结束后，都要求被试在虚拟地图中通过键盘操纵重复走出刚才所学的路线，同时电脑自动记录下被试所走的每段路线。实验结束后对被试表示感谢，并发放一定被试费。

2.2 结果

计算被试在视空间学习任务中的成绩，公式(Wermeskerken et al., 2016)如下：

$$成绩=\frac{正确路线数}{正确总路线数}-\frac{错误路线数}{地图总路线数}$$

公式中的正确路线数是指被试所走路线中正确的路线数量，正确总路线数为实验材料中所呈现的总路线数，错误路线数是被试所走路线中与所呈现路线不符的路线数量，地图总路线数为整张地图的全部可走路线数，成绩取值在−1 到 1 之间。

对成绩进行 2 (地图类型：平面地图、立体地图) × 3 (手势：无手势、产生追踪手势) × 2 (性别：男、女)三因素混合方差分析，同时进行了贝叶斯因子分析作为补充。结果表明，手势主效应显著，$F(1, 52) = 58.73$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.53$，贝叶斯因子 $BF_{10} = 16.64$，说明在备择假设下出现当前数据的可能性是零假设下的 16.64 倍，根据 Jeffreys (1961)提出的分类标准，有较强的证据支持了备择假设，即是否产生追踪手势在视空间学习任务中的成绩差异显著，产生追踪手势的成绩($M = 0.89$)显著好于无手势成绩($M = 0.66$)；地图类型主效应显著，$F(1, 52) = 14.46$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.22$，贝叶斯因子 $BF_{10} = 15.50$，说明在备择假设下出现当前数据的可能性是零假设下的 15.50 倍，有较强的证据支持了备择假设，即平面地图成绩($M = 0.84$)好于立体地图成绩($M = 0.73$)；性别主效应不显著，$p > 0.05$，贝叶斯因子 $BF_{10} = 0.38$，说明在备择假设下出现当前数据的可能性是零假设下的 0.38 倍，有较弱的证据支持了零假设，即男性和女性在视空间学习任务中的成绩没有显著差异。

手势与地图类型的交互作用显著, $F(1, 52) = 4.55$, $p = 0.03$, $\eta_p^2 = 0.08$, 贝叶斯因子 $BF_{10} = 18.33$, 说明在备择假设下出现当前数据的可能性是零假设下的 18.33 倍, 有较强的证据支持了备择假设。简单效应分析发现, 平面地图条件下是否产生追踪手势的差异显著, $F(1, 52) = 20.54$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.28$, 产生追踪手势的成绩(M = 0.91)显著高于无手势的成绩(M = 0.74); 立体地图条件下是否产生追踪手势的差异显著, $F(1, 52) = 58.04$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.53$, 产生追踪手势的成绩(M = 0.87)显著高于无手势的成绩(M = 0.59); 无手势条件下平面地图和立体地图成绩差异显著, $F(1, 52) = 12.14$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.19$, 平面地图的成绩(M = 0.74)显著高于立体地图的成绩(M = 0.59); 而产生追踪手势条件下平面地图与立体地图成绩差异不显著, $p > 0.05$。其他交互作用均不显著, $ps > 0.05$。

此外, 对平面地图和立体地图有无手势的路线学习成绩差异进行比较, 即对平面地图条件下有无手势的差值(d = 0.17)和立体地图条件下有无手势的差值(d = 0.27)进行了成对样本 t 检验, $t(1, 52) = -2.13$, $p = 0.038$, Cohen's $d = -0.37$, 二者差异显著, 说明在立体地图条件下产生追踪手势对视空间学习的提高作用显著强于平面地图条件(见图 2)。

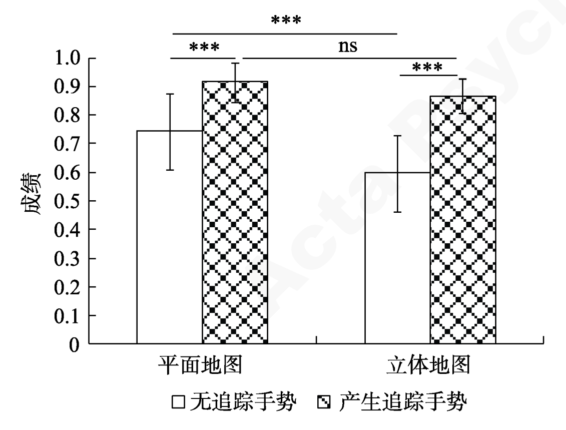


图 2　不同手势条件下平面地图和立体地图的视空间学习成绩差异

2.3　讨论

实验 1 结果表明, 无论是平面地图还是立体地图条件下, 产生追踪手势都可以显著提高被试的视空间学习成绩, 且产生追踪手势对立体地图学习的增强作用要高于平面地图。在无手势的条件下, 被试的平面地图路线学习成绩要显著高于立体地图, 这可能是被试所反映的立体地图难度较大所导致的, 也可能是因为平面地图提供了俯瞰式的路线图, 使被试更易形成认知地图。而在产生追踪手势的条件下, 平面地图和立体地图的路线学习成绩没有显著差异, 说明产生追踪手势不仅显著提高了个体的视空间学习成绩, 还使立体地图的难度降低。追踪手势通过提供稳定的本体感受和视觉反馈, 以产生或维持与任务相关的信息, 从而降低了工作记忆负荷, 提高了视空间学习任务的绩效(Clark, 2013)。

实验 1 中产生追踪手势增强平面地图路线学习的结果与 So 等人(2014)通过手势比划路线来促进平面地图路线学习的结果基本一致, 但本研究在前人研究基础上将路线回忆改为路线重走, 与现实生活中根据平面地图路线行进的方式相似, 同时本研究还增加了立体地图路线学习, 更接近日常生活中的视空间学习过程。然而, 产生追踪手势到底如何提高地图学习任务的绩效仍不清楚。由于产生追踪手势在立体地图路线学习中有更强的增强作用, 且前人只关注了通过手势描画平面地图路线对学习的促进作用, 并未有相关研究探索产生追踪手势在立体地图路线学习方面的作用, 因此本研究继续采用立体地图开展实验 2 的研究, 以澄清产生追踪手势对视空间学习的增强机制。

3　实验 2：产生追踪手势对视空间学习的作用机制

实验 2 主要采用遮挡范式进一步澄清在立体地图路线学习任务中产生追踪手势对视空间学习的作用机制。本实验为单因素(手势：无手势、产生但遮挡追踪手势、产生且不遮挡追踪手势)被试内设计, 考察追踪手势所提供的视觉信息和感觉运动信息在视空间学习中所起的作用。

3.1　研究方法

3.1.1　被试

使用 G*Power 对样本量进行计算, effect size $f = 0.4$, $\alpha = 0.05$, $1 - \beta = 0.95$, 计算出所需样本量为 36 人。

根据计算出的样本量重新招募陕西省某高校 49 名大学生作为被试参加实验。被试均为右利手, 年龄在 17 到 25 岁之间(M = 19.83 岁), 其中男生 14 名, 女生 35 名。参加实验的被试视力/矫正视力正常, 无红绿色盲或色弱的情况。之前均未参与过相同或相似的实验, 且不知晓研究目的。

3.1.2　实验材料

(1)地图学习任务

实验 2 的地图学习任务材料与实验 1 的立体地

图路线学习任务材料类似。共有 6 条路线，分别绘制在 6 张略有不同但结构相似的地图上，每条路线的起点、终点和路径均不相同。每条路线都有 8 个拐弯、9 段路径，路线皆无交叉。

(2)挡板

使用白色纸板制作五面封闭、前方开一半圆口的长方体形状盒子，被试的手可放入半圆口中，并能在盒子中自由移动。在正坐条件下被试无法从半圆口内看到自己的手势。此挡板主要用于遮住被试对自己手势的观察。

3.1.3 实验程序

实验 2 地图学习任务的程序与实验 1 中的立体地图路线学习部分大致相同。区别在于，实验 2 分为 3 组实验：

(1)无手势条件：路线视频呈现时要求被试将双手平放在桌面上，不做任何手势，同时学习该路线。

(2)产生但遮挡追踪手势条件：给被试呈现路线视频时，要求被试作出相应的追踪手势，但使用挡板遮住被试对自身手势的观察，同时学习该路线。

(3)产生且不遮挡追踪手势条件：呈现路线视频时要求被试作出相应追踪手势，不对手势做任何遮挡，同时学习该路线。

每组实验 2 个试次，共有 6 个试次。所有条件下的路线学习时间均为 1 分钟。

由于路线视频都是提前录制好的，因此每个被试观看的视频是相同的。每段视频结束后，都要求被试在虚拟地图中通过键盘操纵重复走出刚才所学的路线，同时电脑自动记录被试所走的每段路线。实验结束后对被试表示感谢，并发放一定被试费。

3.2 结果

对成绩进行单因素(手势：无手势、产生但遮挡追踪手势、产生且不遮挡追踪手势)方差分析，同时进行了贝叶斯因子分析作为补充。结果表明，手势主效应显著，$F(2, 47) = 24.05$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.51$，贝叶斯因子 $BF_{10} = 19.44$，说明在备择假设下出现当前数据的可能性是零假设下的 19.44 倍，有较强的证据支持了备择假设，即无手势、产生但遮挡追踪手势和产生且不遮挡追踪手势在视空间学习任务中的成绩差异显著。事后检验结果发现，无手势与产生但遮挡追踪手势差异显著，$p < 0.001$，FDR 校正后的 $q < 0.001$，无手势的成绩($M = 0.55$)显著低于产生但遮挡追踪手势的成绩($M = 0.77$)；无手势与产生且不遮挡追踪手势差异显著，$p < 0.001$，FDR 校正后的 $q < 0.001$，无手势的成绩($M = 0.55$)显著低于产生且不遮挡追踪手势的成绩($M = 0.86$)；产生但遮挡追踪手势与产生且不遮挡追踪手势差异显著，$p = 0.039$，FDR 校正后的 $q = 0.039$，产生但遮挡追踪手势的成绩($M = 0.77$)显著低于产生且不遮挡追踪手势的成绩($M = 0.86$)。总体而言，产生但遮挡追踪手势和产生且不遮挡追踪手势的成绩都显著高于无手势，产生且不遮挡追踪手势的成绩显著高于产生但遮挡追踪手势的成绩(见图 3)。

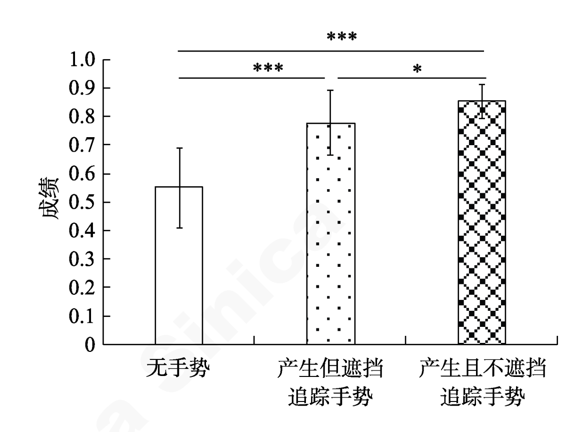


图 3 不同手势条件下视空间学习成绩比较

3.3 讨论

实验 2 通过比较立体地图路线学习任务中无手势、产生但遮挡追踪手势和产生且不遮挡追踪手势条件下的成绩差异来探究产生追踪手势对视空间学习的增强机制。实验结果表明，无论是否遮挡追踪手势，产生追踪手势都可以提高视空间学习成绩，其成绩都显著高于无手势条件，此结果与实验 1 的研究结果一致。但产生且不遮挡追踪手势的成绩显著高于产生但遮挡追踪手势的成绩，说明追踪手势所提供的视觉信息和感觉运动信息共同作用于视空间学习，证实了表象维持理论对手势所提供的视觉信息作用的推测，同时补充了手势的具身认知理论。

实验 1 和实验 2 的结果都表明产生追踪手势对视空间学习有较强的增强作用，而前人研究多集中于通过观察他人追踪手势来提高平面地图的视空间学习效果，那么观察他人追踪手势是否能增强立体地图的视空间学习？观察他人追踪手势和以自我为参照产生追踪手势何者能更好地增强视空间学习？这些问题值得进一步探究。此外，手势的具身认知理论还认为，手势可以提供稳定的身体存在感，它会影响正在进行的思维过程，但实验 2 未能证实手势是否通过提供身体存在感增强了视空间学习。为进一步探究这些问题，本研究继续开展了实验 3 的研究。

4 实验 3：追踪手势对视空间学习的增强方式

为进一步探讨增强视空间学习的有效方式，实验 3 采用单因素(手势：无手势、观察他人追踪手势、产生追踪手势)被试内设计，以澄清产生追踪手势是否对视空间学习起更有效的增强作用。

4.1 研究方法

4.1.1 被试

使用 G*Power 对样本量进行计算，effect size $f = 0.4$, $\alpha = 0.05$, $1 - \beta = 0.95$，计算出所需的样本量为 36 人。

根据计算出的样本量重新招募陕西省某高校 51 名大学生作为被试参加实验。被试均为右利手，年龄在 17 到 26 岁之间($M = 19.88$ 岁)，其中男生 20 名，女生 31 名。参加实验的被试视力/矫正视力正常，无色盲或色弱。之前未参与过相同或相似的研究，且并不知晓研究目的。

4.1.2 实验材料

实验 3 所采用的地图学习任务材料与实验 2 相同。

其中观察他人追踪手势条件下的立体地图路线视频是在无手势条件视频的基础上增加了他人的追踪手势。

4.1.3 实验程序

实验 3 的地图学习任务与实验 2 大致相同。实验 3 共有 3 组实验：

(1)无手势条件：给被试呈现无任何手势的路线视频，要求被试将双手平放在桌面上，防止被试做出手势，同时学习该路线。

(2)观察他人追踪手势条件：给被试呈现带有他人追踪手势的路线视频，要求被试将双手平放于桌面，不做任何手势，只观察他人追踪手势，并学习该路线。

(3)产生追踪手势条件：给被试呈现无手势的路线视频，要求被试根据路线的方向自己做出相应的追踪手势，并学习该路线。

每组实验 2 个试次，共有 6 个试次。所有条件下的路线学习时间均为 1 分钟。

由于路线视频都是提前录制好的，因此每个被试观看的视频都是相同的。每段视频结束后，都要求被试在虚拟地图中通过键盘操纵重复走出刚才所学的路线，电脑自动记录被试所走路线。实验结束后对被试表示感谢，并发放一定被试费。

4.2 结果

地图学习任务成绩的描述性统计结果见图 4。

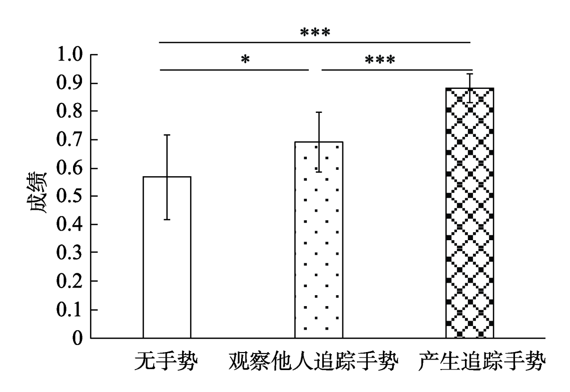


图 4　不同手势条件下视空间学习成绩比较

对成绩进行单因素(手势：无手势、观察他人追踪手势、产生追踪手势)方差分析，同时进行了贝叶斯因子分析作为补充。结果表明，手势主效应显著，$F(2, 49) = 26.65$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.66$，贝叶斯因子 $BF_{10} = 27.56$，说明在备择假设下出现当前数据可能性是零假设下的 27.56 倍，有非常强的证据支持了备择假设，即无手势、观察他人追踪手势、产生追踪手势在视空间学习任务中的成绩差异显著。事后检验结果发现，无手势与观察他人追踪手势差异显著，$p = 0.014$, FDR 校正后的 $q = 0.014$，无手势的成绩($M = 0.57$)显著低于观察他人追踪手势的成绩($M = 0.69$)；无手势与产生追踪手势差异显著，$p < 0.001$, FDR 校正后的 $q < 0.001$，无手势的成绩($M = 0.57$)显著低于产生追踪手势的成绩($M = 0.88$)；观察他人追踪手势与产生追踪手势差异显著，$p < 0.001$, FDR 校正后的 $q < 0.001$，观察他人追踪手势的成绩($M = 0.69$)显著低于产生追踪手势的成绩($M = 0.88$)。

4.3 讨论

实验 3 通过比较无手势、观察他人追踪手势和产生追踪手势探究了何种方式能更有效地增强视空间学习。实验结果表明，以自我为参照产生追踪手势的效果显著好于观察他人追踪手势，这说明以自我为参照产生追踪手势是一种效果更优的视空间学习增强方式。

还应注意到的是，相比于观察他人追踪手势，产生追踪手势有更强的身体存在感，产生追踪手势的增强作用更强说明增强身体存在感可以增强视空间学习，这进一步验证了手势的具身认知理论的观点。且相比于仅观察他人追踪手势，以自我为参照产生追踪手势所提供的感觉运动信息更加丰富，

说明追踪手势所提供的感觉运动信息在视空间学习中的增强作用更显著，进一步验证和补充了实验 2 的结果，同时也扩充了手势的具身认知理论。

5 总讨论

我们日常生活中的许多活动和任务都会使用到空间能力，特别是在路线学习和重走的过程中，视空间能力更是至关重要。而对于一部分空间能力较低的个体而言，如果所处的环境比较陌生，就很容易迷失方向。因此，通过一些外在手段帮助他们增强视空间学习很有必要。本研究采用地图学习任务作为主要范式，通过 3 个实验分别探究了产生追踪手势对视空间学习的增强作用、增强机制以及增强方法。

5.1 产生追踪手势对视空间学习的增强作用

实验 1 首先探讨了产生追踪手势是否对平面地图和立体地图的视空间学习都起到增强作用。实验 1 分别在平面地图和立体地图条件下考察了产生追踪手势的作用，结果与本研究的假设一致，无论是平面地图还是立体地图，产生追踪手势都对视空间学习有增强作用。具体而言，与无手势条件相比，产生追踪手势显著改善了个体对路线的学习和记忆，特别是在立体地图的路线学习过程中其效果更优。平面地图的路线学习结果与前人(So et al., 2014)的结果一致。而对于立体地图的路线学习，由于该过程与真实的路线行走过程十分相似，因此产生追踪手势可能在实际的路线学习过程中也起到增强作用，使结果具有较高的生态效度。此外，在无手势条件下，平面地图的路线学习成绩要显著高于立体地图，这可能是由于呈现鸟瞰式的平面地图更有助于个体形成认知地图，从而能帮助个体更好地学习路线。因此在条件允许的情况下，在学习路线时呈现平面地图十分有利于个体的视空间学习。对于地图学习界面的设计而言，在提供实景路线学习时可以辅以平面小地图，以帮助个体更好了解自身位置和路线情况，使学习过程更加顺利。

5.2 产生追踪手势对视空间学习的增强机制

在前人研究的基础上，本研究还试图回答关于产生追踪手势的作用机制问题。虽然前人研究都提到手势确实具有认知功能，但在前人的描述中，这种手势通常是指手势的神经前导(即前运动)。而有研究表明，手势具有激活内部动作表征的认知作用(Goldin-Meadow & Beilock, 2010)。虽然前人研究对手势的功能做过诸多探讨，但手势能实现这一功能的原因及其作用机制还没有一个清晰的解释。

基于表象维持理论和手势的具身认知理论，本研究认为，手势产生的外部身体表象在某种程度上支持了内部认知过程，而手势所提供的视觉信息和感觉运动信息共同支持了该认知过程，且身体存在感也在此过程中发挥作用。实验 2 通过遮挡范式探究了产生追踪手势在视空间学习中的增强机制。结果发现，无论是否遮挡追踪手势，产生追踪手势都可以提高视空间学习成绩。产生且不遮挡追踪手势的成绩显著高于产生但遮挡追踪手势的成绩，说明产生追踪手势所提供的视觉信息和感觉运动信息共同作用于视空间学习。实验 3 在提供视空间学习增强方式的基础上，也进一步补充了实验 2 的结果，以自我为参照产生追踪手势对视空间学习的增强作用远高于观察他人追踪手势，说明追踪手势所提供的视觉信息和感觉运动信息在视空间学习中都起作用，但感觉运动信息的作用更显著，且产生追踪手势所提供的身体存在感在这一过程中也发挥着一定的作用。

表象维持理论认为手势可能在维持空间表象方面有一定作用。Wesp 等人(2001)提出手势具有“刷新”视觉空间模板的功能，可以维持工作记忆中表象的激活。身体动作的产生支持了内部空间表象的维持，没有身体姿势，内部空间表象会变得不稳定，其激活可能衰减。但手势并不是必要的，它只是帮助维持空间概念，较短的处理时间可能不需要手势来维持，空间表象只有在它们被转换成另一种表现形式时才有必要。此外，Wesp 等人还推测，手势所提供的视觉表象与运动没有密切联系，也不会受到运动反应的影响。

实验 2 和实验 3 结果证明，在产生且不遮挡追踪手势和观察他人追踪手势的条件下，追踪手势所提供的视觉信息可以帮助维持工作记忆中表象的激活，通过追踪手势将空间信息保留在视觉空间模板中，从而增强了视空间学习，即对地图路线的记忆。这说明表象维持理论可以较好地解释观察追踪手势的作用机制。

然而，实验结果发现，使产生追踪手势起增强作用的不只是追踪手势所提供的视觉信息，还包括感觉运动信息，这与 Waller 等人(2004)以及 Ruddle 和 Lessels (2009)研究中关于运动信息对视空间学习起促进作用的结果一致。且实验 3 结果表明，感觉运动信息和身体存在感在增强视空间学习中所起到的作用比单纯提供视觉信息的作用更大，即相

较于仅观察他人追踪手势, 以自我为参照产生追踪手势对视空间学习有更大的增强作用。由此可见, 表象维持理论可以在某种程度上解释手势对认知过程的增强作用, 但产生追踪手势的作用机制远比表象维持理论所描述的更加复杂, 而 Wesp 等人的理论也没有提供更多详细的解释。

手势的具身认知理论则认为, 认知系统是一个耦合的脑−身体−外部世界的系统, 涉及到当前大脑、身体和环境状态之间的互动, 它不是单向的, 而是相互的(Bredo, 1994; Clark, 2013), 即认知系统与身体和环境是协同工作的。手势作为耦合的脑−身体的重要组成部分, 是思维过程的延伸。通过产生手势可以影响正在进行的思考和推理。手势提供了一种稳定的身体存在感, 体现了认知任务的特定方面。手势不仅是一种使语言和思想内容外化的方式, 还能暂时帮助维持认知稳定性。手势是具身的, 它通过提供稳定的本体感受和视觉反馈来产生或维持与任务相关的信息, 因此手势可以实现一种认知功能, 即手势产生的外部身体表象在某种程度上能支持内部认知过程。

Clark (2013)还提出, 手势之所以能支持内部认知过程, 是因为它可以使工作记忆负荷最小化。当外部信息可以直接获取且过程较为简便时, 个体会主要依赖于从外部检索信息, 因为它可以减少在任务中所犯的错误; 当外部信息只能间接获得时, 个体便开始依赖于内部记忆, 这可能会导致大量的错误。这表明人们可能会选择最快的解决问题策略, 认知系统倾向于用最少的努力来获取解决问题的资源(Clark, 2008)。情境的约束导致了决策的权衡, 即认知系统是依赖于环境信息还是内部记忆主要取决于环境(Wilson, 2002)。当内部认知需求增加时, 个体就很可能使用外部调节的认知策略。但这种外部支持只有在复杂任务时才有效, 特别是对空间能力较低的个体。因此, 当认知需求较高时, 外部支持尤其有帮助。

这种手势能够减轻认知负荷的解释可以帮助进一步阐释本研究的结果。空间工作记忆负责视觉和空间信息的临时存储和操作(Baddeley, 2003), 很多研究者认为这种记忆系统是表象生成的主要原因(Cattaneo et al., 2006)。当需要学习的路线较长时, 个体的空间工作记忆负荷较大, 此时产生追踪手势作为一种外部调节策略, 通过提供稳定的本体感受和视觉反馈, 产生并维持了与任务相关的信息, 支持了内部表征的稳定性, 减轻了个体的空间工作记忆负荷, 帮助个体更好地学习路线, 从而增强了视空间学习。特别是对于立体地图的学习, 其难度大, 不易形成相应的认知地图, 使得被试的空间工作记忆负荷更大, 而追踪手势的加入极大地降低了被试的空间工作记忆负荷, 使被试的任务成绩有了显著提升。

此外, 在过去关于空间能力的性别差异研究中发现, 男性的空间能力略高于女性, 一些研究者认为这种差异可能与空间工作记忆有关, 并且只在空间工作记忆负荷很高时才会出现(Coluccia & Louse, 2004)。但另一些研究者认为, 性别的影响主要与不同策略的使用有关, 通常发现的性别差异并不是能力水平本身的差异, 而在于男性和女性所考虑的信息类型不同。女性更偏好使用地标信息, 而男性更多地考虑几何信息。当需要处理更多的几何信息时, 男性可能会比女性表现更好; 但当视空间学习过程依赖地标信息的处理时, 男性和女性就会有相同水平的任务表现(Sandstrom et al., 1998; van der Ham et al., 2020)。

本研究发现, 在没有地标的情况下, 虽然男性的视空间学习成绩都略高于女性, 但产生追踪手势时男性和女性的成绩差异远小于无手势时, 这说明空间能力的性别差异可能与空间工作记忆有关。当产生追踪手势时, 追踪手势减轻了个体的空间工作记忆负荷, 从而在提高视空间学习成绩的同时减少了性别差异。

然而, 手势的具身认知理论没有对手势复杂的作用机制做出进一步的解释, 即手势是通过什么类型的信息来支持内部认知过程的。本研究通过实验 2 的遮挡范式证明, 追踪手势所提供的视觉信息和感觉运动信息共同作用于视空间学习过程, 且感觉运动信息作用更强, 这进一步补充了手势的具身认知理论。但目前尚不清楚地是, 手势是如何促进表象激活的。研究表明, 观察身体各部位的动作可以激活大脑顶叶和运动前区, 从而可以模拟动作(Gazzola et al., 2006; Goldenberg & Karnath, 2006)。此外, 在观察其他物种(Buccino et al., 2004)甚至是机器人(Demiris & Simmons, 2006)时, 这些脑区同样会激活。在回忆之前观察到的动作时, 手的动作与之前观察到的动作相一致可以促进想象。未来可以通过 ERP、fMRI 和 fNIRS 等技术进一步探究追踪手势对视空间学习的作用机制问题。

5.3　基于追踪手势的视空间学习增强方式

关于视空间学习的增强方式, 前人主要通过使

用空间语言、描绘地图和观察他人追踪手势等方法来促进个体的视空间学习。而现实生活中，在没有平面地图的情况下，产生追踪手势就成为一种更易得且便利的视空间学习增强方法，因此本研究通过比较观察他人追踪手势和以自我为参照产生追踪手势在视空间学习中的作用，探索了如何在没有其他外部条件辅助的情况下更好地帮助个体学习路线，提高视空间学习成绩。

实验 3 比较了无手势、观察他人追踪手势和以自我为参照产生追踪手势对视空间学习任务的影响，所得结果与先前的假设相同，以自我为参照产生追踪手势对视空间学习的增强效果最强，即与无手势和观察他人追踪手势相比，以自我为参照产生追踪手势显著地改善了对路线的回忆，而观察他人追踪手势对视空间学习也有一定的提高作用，但作用效果不如产生追踪手势。这说明相比于观察他人追踪手势，以自我为参照产生追踪手势是一种效果更佳的视空间学习增强方式。

以往研究多关注观察他人追踪手势对平面地图路线学习的影响，如 Wermeskerken 等人(2016)的研究，而产生追踪手势在立体地图视空间学习中的作用研究很少。本研究的结果一方面进一步验证了前人关于观察他人追踪手势在视空间学习过程中起到增强作用这一结果，另一方面也补充了前人研究的空白，增添了以自我为参照产生追踪手势这一方式在立体地图路线学习过程中作用的研究，并证明产生追踪手势是比观察他人追踪手势效果更好的一种路线学习方式。且在现实生活中，在进行视空间学习时通常没有他人的手势作为辅助学习条件，以自我为参照产生追踪手势不仅更易获得，无需依赖他人，而且效果极佳，作为一种外部调节策略可以很好地帮助个体记忆和回忆路线。

未来在试图增强个体视空间学习的过程中，可以通过让个体产生追踪手势的方式来提升对路线的学习效果。在空间导航界面的设计方面，也可以尝试将指示箭头改为追踪手势，通过增加一定的身体存在感帮助个体更好地进行导航从而提高绩效和用户体验。

5.4 局限与展望

首先，本研究仅选取了大学生被试群体，未对其他年龄段的个体进行抽样和研究，特别是对于认知功能有所下降的老年人，这种相对简单的增强方式可能在便利其生活方面更有意义。其次，本研究虽然采取了相对更具生态效度的立体地图作为实验材料，但使用键盘来操纵第一视角的行走与现实生活中的视空间学习和行走过程仍存在不小的差距，未来在条件允许的情况下，可以通过创造现实场景来进一步考察产生追踪手势对视空间学习的作用。再次，本研究未考虑地域差异问题。对于生活在不同地域的个体使用的视空间学习策略可能存在较大差异，例如生活在平原地区的个体可能更多使用东南西北来指示方向并进行导航，而对于生活在多山或丘陵地区的个体可能更多使用地标或其他策略来学习路线，因此产生追踪手势所起的作用也可能存在差异。最后，本研究仅从行为实验的层面对产生追踪手势的增强机制进行了探究，主要关注了与日常生活更为相近的立体地图路线学习，未来可以用 ERP、fMRI 和 fNIRS 等设备从神经生理层面进一步开展平面地图和立体地图路线学习的脑机制研究，验证和补充手势的具身认知理论的观点，解释产生追踪手势对平面地图和立体地图路线学习促进作用的差异，特别是关于手势如何促进表象激活以及身体存在感等方面的脑研究，增加相关的实证证据。

6 结论

本研究通过 3 个实验证实了产生追踪手势对视空间学习的增强作用，并探究了追踪手势增强作用的产生主要与其所提供的视觉信息和感觉运动信息相关，很好地支持了手势的具身认知理论，还进一步解决了采用何种方式能更好地提高视空间学习成绩的问题，即以自我为参照产生追踪手势是效果更佳的视空间学习增强手段，对于空间能力较低的个体而言可以更好地帮助他们进行视空间学习，避免迷失方向。

参 考 文 献

Alibali, M. W., Heath, D. C., & Myers, H. J. (2001). Effects of visibility between speaker and listener on gesture production: Some gestures are meant to be seen. *Journal of Memory and Language*, *44*(2), 169−188.

Alibali, M. W., & Nathan, M. J. (2012). Embodiment in mathematics teaching and learning: Evidence from learners' and teachers' gestures. *Journal of the Learning Sciences*, *21*(2), 247−286.

Austin, E. E., & Sweller, N. (2014). Presentation and production: The role of gesture in spatial communication. *Journal of Experimental Child Psychology*, *122*, 92−103.

Austin, E. E., & Sweller, N. (2017). Getting to the elephants: Gesture and preschoolers' comprehension of route direction information. *Journal of Experimental Child Psychology*, *163*, 1−14.

Ayaz, H., Allen, S., Platek, S., & Onaral, B. (2008). Maze Suite 1.0: A complete set of tools to prepare, present, and analyze navigational and spatial cognitive neuroscience experiments. *Behavior Research Methods*, *40*, 353−359.

Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, *4*(10), 829−839.

Bredo, E. (1994). Reconstructing educational psychology: Situated cognition and Deweyian pragmatism. *Educational Psychologist*, *29*(1), 23−35.

Brunyé, T. T., Rapp, D. N., & Taylor, H. A. (2008). Representational flexibility and specificity following spatial descriptions of real world environments. *Cognition*, *108*(2), 418−443.

Buccino, G., Binkofski, F., & Riggioa, L. (2004). The mirror neuron system and action recognition. *Brain & Language*, *89*(2), 370−376.

Cassell, J., & McNeill, D. (1991). Gesture and the poetics of prose. *Poetics Today*, *12*(3), 375−404.

Cattaneo, Z., Fastame, M., Cornoldi, C., & Vecchi, T. (2006). Working memory, imagery and visuo-spatial mechanisms. *Imagery and Spatial Cognition: Methods, Models and Cognitive Assessment*, *66*, 101−137.

Clark, A. (2008). *Supersizing the mind: Embodiment, action, and cognitive extension*. New York: Oxford University Press.

Clark, A. (2013). *The hand, an organ of the mind: what the manual tells the mental*. Cambridge: MIT Press.

Coluccia, E., & Louse, G. (2004). Gender differences in spatial orientation: A review. *Journal of Environmental Psychology*, *24*(3), 329−340.

Demiris, Y., & Simmons, G. (2006). Perceiving the unusual: Temporal properties of hierarchical motor representations for action perception. *Neural Networks*, *19*(3), 272−284.

de Nooijer, J. A., van Gog, T., Paas, F., & Zwaan, R. A. (2013). Effects of imitating gestures during encoding or during retrieval of novel verbs on children's test performance. *Acta Psychologica*, *144*(1), 173−179.

Gazzola, V., Aziz-Zadeh, L., & Keysers, C. (2006). Empathy and the somatotopic auditory mirror system in humans. *Current Biology*, *16*(18), 1824−1829.

Goldenberg, G., & Karnath, H.-O. (2006). The neural basis of imitation is body part specific. *Journal of Neuroscience*, *26*(23), 6282−6287.

Goldin-Meadow, S. (2011). Learning through gesture. *WIREs Cognitive Science*, *2*(6), 595−607.

Goldin-Meadow, S., Beilock, S. L. (2010). Action's influence on thought: The case of Gesture. *Perspectives on Psychological Science*, *5*(6), 664−674.

Jeffreys, H. (1961). *Theory of probability* (3rd ed). Oxford: Clarendon Press.

Li, H. Y., & Lin, C. D. (2005). A structural research on the spatial-cognitive ability of high school students. *Journal of Psychological Science*, *28*(2), 269−271.

[李洪玉, 林崇德. (2005). 中学生空间认知能力结构的研究. *心理科学*, *28*(2), 269−271.]

Mathewson, J. H. (1999). Visual-spatial thinking: An aspect of science overlooked by educators. *Science Education*, *83*(1), 33−54.

Marstaller, L., & Buríanová, H. (2013). Individual differences in the gesture effect on working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *20*, 496−500.

Meneghetti, C., Zancada-Menéndez, C., Sampedro-Piquero, P., Lopez, L., Martinelli, M., Ronconi, L., & Rossi, B. (2016). Mental representations derived from navigation: The role of visuo-spatial abilities and working memory. *Learning and Individual Differences*, *49*, 314−322.

Pouw, W., & Hostetter, A. (2016). Gesture as predictive action. *Reti, saperi, linguaggi: Italian Journal of Cognitive Sciences*, *3*(1), 57−80.

Pouw, W. T. J. L., van Gog, T., & Paas, F. (2014). An embedded and embodied cognition review of instructional manipulatives. *Educational Psychology Review*, *26*, 51−72.

Ruddle, R. A., & Lessels, S. (2009). The benefits of using a walking interface to navigate virtual environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, *16*(1), 135−152.

Sandstrom, N. J., Kaufman, J., & Huettel, S. A. (1998). Males and females use different distal cues in a virtual environment navigation task. *Cognitive Brain Research*, *6*(4), 351−360.

So, W. C., Ching, T. H., Lim, P. E., Cheng, X., & Ip, K. Y. (2014). Producing gestures facilitates route learning. *PLoS ONE*, *9*, 1−21.

So, W. C., Shum, P. L. C., & Wong, M. K. Y. (2015). Gesture is more effective than spatial language in encoding spatial information. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *68*(12), 2384−2401.

Uttal D. H., & O'Doherty, K. (2008). Comprehending and learning from 'visualizations': A developmental perspective. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: theory and practice in science education: models and modeling in science education* (Vol. 3, pp. 53−72). Springer, Dordrecht.

van der Ham, I. J. M., Claessen, M. H. G., Evers, A. W. M., & van der Kuil, M. N. A. (2020). Large-scale assessment of human navigation ability across the lifespan. *Scientific Reports*, *10*(1), 3299.

Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, *101*(4), 817−835.

Waller, D., Loomis, J. M., & Haun, D. B. (2004). Body-based senses enhance knowledge of directions in large-scale environments. *Psychonomic Bulletin & Review*, *11*(1), 157−163.

Wermeskerken, M., Fijan, N., Eielts, C., & Pouw, W. T. J. L. (2016). Observation of depictive versus tracing gestures selectively aids verbal versus visual-spatial learning in primary school children. *Applied Cognitive Psychology*, *30*(5), 806−814.

Wesp, R. K., Hesse, J., Keutmann, D., & Wheaton, K. (2001). Gestures maintain spatial imagery. *The American Journal of Psychology*, *114*(4), 591−600.

Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(4), 625.

Zhao, W., & Tian, C. (2008). The CHC theory and its application in assessment and educational intervention to children with learning disabilities. *Chinese Journal of Special Education*, (5), 47−52.

[赵微, 田创. (2008). CHC 理论及其在学习困难儿童评估与教育干预中的应用. *中国特殊教育*, (5), 47−52.]

The enhancing effect of tracking gesture on visuo-spatial learning

JIA Xiaoqian, SONG Xiaolei

(*School of Psychology, Shaanxi Normal University; Shaanxi Key Laboratory of Behavior and Cognitive Neuroscience, Xi'an* 710062, *China*)

Abstract

Visuo-spatial ability is the main component of spatial cognitive ability, which forms the spatial model of external world in human brain and think in mind through the transformation of model paradigm. However, when there are few landmarks or reference objects in an unfamiliar environment, individuals with low visuo-spatial ability are often prone to get lost. So, for these individuals with low visuo-spatial ability, how to solve this problem is worth exploring. Previous researches have shown that gestures help individuals to learn. However, most studies focused on improving the ability of route learning by observing tracking gestures, while there were few studies exploring the effect of generating tracking gestures, and there was no research exploring the role of generating tracking gestures in route learning on 3D maps.

The route learning task was adopted as the main paradigm in the present study to explore the enhancing effect of generating tracking gestures in the route learning process of 3D map. A total of 53 participants were recruited in Experiment 1 to explore the improving effect of generating tracking gestures on visuo-spatial learning of 2D map and 3D map. In Experiment 2, another 49 participants were recruited to investigate the enhancing mechanism of generating tracking gestures in route learning using occlusion paradigm. Experiment 3 recruited another 53 participants to explore the methods of enhancement of visuo-spatial learning based on tracking gesture.

The results of Experiment 1 showed that generating tracking gestures significantly improve the performance of visuo-spatial learning in both 2D map and 3D map, and the enhancing effect of generating tracking gesture on route learning of 3D map was higher than that of 2D map. Experiment 2 revealed that visuo-spatial learning was enhanced by the visual information and sensorimotor information provided by tracking gestures. The results of Experiment 3 showed that the enhancing effect of generating self-referential tracking gestures was significantly higher than that of observing others' tracking gestures, and it also proved that enhancing physical presence can improve the effect of visuo-spatial learning.

In summary, these results suggest that (1)generating tracking gestures can enhance visuo-spatial learning; (2)visual information and sensorimotor information provided by tracking gestures play important roles in visuo-spatial learning, which confirms image maintenance theory and further complements the embodied embodied-external cognitive perspective of gesture; (3)increasing physical presence can enhance visuo-spatial learning, which validates the embodied-external cognitive perspective of gesture; (4)compared with observing other's tracking gestures, generating self-referential tracking gestures has a better performance, that is, generating self-referential tracking gestures is a more effective way to improve visuo-spatial learning.

Key words generating tracking gesture, visuo-spatial learning, image maintenance theory, embodied-external cognitive perspective of gesture